

04P04353



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 20 401 A 1**

51 Int. Cl.⁶:
G 01 K 7/42
G 01 K 1/16

21 Aktenzeichen: 199 20 401.2
22 Anmeldetag: 4. 5. 99
43 Offenlegungstag: 11. 11. 99

DE 199 20 401 A 1

30 Unionspriorität:
9809855 09. 05. 98 GB

71 Anmelder:
Motorola Ltd., Basingstoke, Hampshire, GB

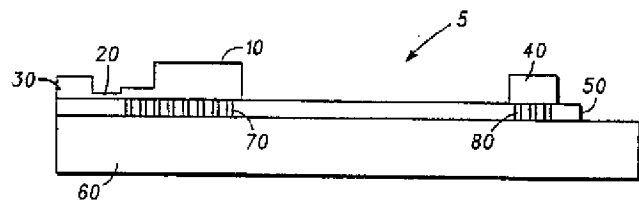
74 Vertreter:
Dr. L. Pfeifer und Kollegen, 65203 Wiesbaden

72 Erfinder:
Miller, Peter, Shefford, Bedfordshire, GB

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 **Anordnung und Verfahren zur Temperaturschätzung**

57 Ein Verfahren zur Temperaturschätzung einer elektronischen Einrichtung, die auf einer starren Unterlage montiert ist, durch Messung der Temperatur einer thermisch leitfähigen Verbindung, die an der elektronischen Einrichtung befestigt ist, indem ein erster Temperatursensor verwendet wird, und durch Messung der Temperatur der starren Unterlage, indem ein zweiter Temperatursensor verwendet wird. Die Verbindung und der erste Temperatursensor sind von der starren Unterlage thermisch isoliert, und durch die Verknüpfung der Messungen von den ersten und zweiten Temperatursensoren wird eine Messung der Temperatur der elektronischen Einrichtung bereitgestellt.



DE 199 20 401 A 1

6

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

- 5 Diese Erfindung betrifft Anordnungen zur Temperaturschätzung, und im besonderen, jedoch nicht ausschließlich, Anordnungen zur Schätzung der Sperrschichttemperaturen in Halbleitereinrichtungen.

Hintergrund der Erfindung

- 10 Die meisten elektronischen Einrichtungen haben maximale Begrenzungen der Betriebstemperatur und die Beibehaltung einer Betriebstemperatur an diesem Grenzwert oder unterhalb dessen ist für den sicheren Betrieb der Einrichtung kritisch.

Im Fall von Halbleitereinrichtungen kann dieser Grenzwert wohldefiniert sein (ungefähr 125°C für die Sperrschichttemperatur), es ist jedoch oftmals sehr schwierig, diesen Grenzwert während des Betriebs der Einrichtung zu messen.

- 15 Eine bekannte Lösung besteht in der Verwendung eines in der Einrichtung integrierten Temperaturfühlers. Dies erhöht jedoch die Kosten und die Komplexität der Einrichtung beträchtlich.

- Eine weitere bekannte Lösung besteht in der Bereitstellung eines diskreten Temperaturfühlers, der in der Nähe der Einrichtung angebracht wird. Bei dieser Anordnung besteht jedoch ein Problem darin, daß zwischen der Einrichtung und dem Fühler eine gute thermische Kopplung gewährleistet sein muß, und wenn sich diverse weitere Einrichtungen in enger Nachbarschaft zu der zu messenden Einrichtung befinden, kann der Sensor Wärme von den anderen Einrichtungen erkennen und deswegen keine genaue Temperaturschätzung der gemessenen Einrichtung liefern.

- 20 Eine dritte bekannte Lösung besteht in der Verwendung einer Stromgrenzwertanordnung. Dies setzt jedoch einen feststehenden oberen Spannungsgrenzwert voraus, und der Wert des Stromgrenzwerts muß auf der höchsten theoretischen Umgebungstemperatur basieren. Deswegen könnte die Einrichtung in den meisten Fällen einen Strom sicher liefern, der wesentlich höher als der Stromgrenzwert ist.

25 Diese Erfindung zielt darauf hin, eine Anordnung zur Temperaturschätzung und Verfahren bereitzustellen, die die obenstehend erwähnten Nachteile vermindern.

Zusammenfassung der Erfindung

- 30 Nach einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird eine Anordnung zur Temperaturschätzung für eine elektronische Einrichtung bereitgestellt, wobei die Anordnung umfaßt: einen ersten Temperatursensor, der über eine thermisch leitende Verbindung an der elektronischen Einrichtung angebracht wird, zur Messung der Temperatur der thermisch leitenden Verbindung und zur Bereitstellung eines ersten Signals, wobei die Verbindung und der erste Temperatursensor von der starren Unterlage thermisch isoliert sind; einen zweiten Temperatursensor, der angeordnet ist, um die Temperatur der starren Unterlage zu messen; und Logikmittel, die angeordnet sind, um aus den Messungen der ersten und zweiten Temperatursensoren eine Schätzung der Temperatur der elektronischen Einrichtung zu berechnen.

- Nach einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wird ein Verfahren zur Schätzung der Temperatur einer auf einer starren Unterlage montierten elektronischen Einrichtung bereitgestellt, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt: Messung der Temperatur einer thermisch leitenden Verbindung, die an der elektronischen Einrichtung angebracht ist, indem ein erster Temperatursensor verwendet wird, wobei die Verbindung und der erste Temperatursensor von der starren Unterlage thermisch isoliert sind; Messung der Temperatur der starren Unterlage, indem ein zweiter Temperatursensor verwendet wird; und Verknüpfung der Messungen vom ersten und zweiten Temperatursensor, um eine Schätzung der Temperatur der elektronischen Einrichtung bereitzustellen.

- 45 Auf diese Weise werden eine Anordnung und Verfahren bereitgestellt, die gestatten, daß eine Halbleitereinrichtung bei einer maximalen Nenntemperatur sicher betrieben wird, ohne die Notwendigkeit einer teuren, "auf dem Chip befindlichen" Temperaturfühleinrichtung.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

- 50 Es wird nun eine beispielhafte Ausführung der Erfindung beschrieben unter Bezugnahme auf die Zeichnungen, in denen:

Fig. 1 zeigt eine bevorzugte Ausführung einer Anordnung zur Temperaturschätzung in Übereinstimmung mit der Erfindung.

- 55 Die **Fig. 2** und **3** zeigen konzeptionelle Modelle der Ausführung von **Fig. 1**, in denen thermische Eigenschaften als elektrische Eigenschaften ausgedrückt werden.

Fig. 4 zeigt ein Bestandteil der Schaltung der bevorzugten Ausführung von **Fig. 1**.

Detaillierte Beschreibung einer bevorzugten Ausführung

- 60 Bezugnehmend auf **Fig. 1** wird eine Anordnung zur Temperaturschätzung **5** gezeigt, die der Schätzung der Temperatur einer Einrichtung **10** dient, die die Sperrschichttemperatur eines Halbleiterleistungstransistorpakets oder die innere Temperatur einer elektronischen Einrichtung sein kann.

- 65 Die Anordnung enthält einen ersten Temperatursensor **30**, der über einen Kupferstreifen **20** thermisch an die Einrichtung **10** gekoppelt ist, und einen zweiten Temperatursensor **40**, der untenstehend weiter beschrieben werden soll.

Die Einrichtung **10**, der Kupferstreifen **20** und die ersten und zweiten Temperatursensoren **30** bzw. **40** sind alle auf einer gedruckten Leiterplatte (PCB) **50** montiert, die wiederum auf einer starren Unterlage **60** montiert ist, die Teil des Gehäuses für die Einrichtung **10** oder ein Kühlkörper der Anordnung **5** sein kann.

Eine Anzahl erster thermischer Durchbrüche 70, die typischerweise aus Kupfer bestehen, sind durch die PCB 50 ausgebildet, um zwischen der Einrichtung 10 und der darunterliegenden starren Unterlage 60 einen gut leitenden thermischen Pfad zu schaffen. Es sind ebenfalls eine Anzahl zweiter thermischer Durchbrüche 80 durch die PCB 50 ausgebildet, um zwischen dem zweiten Temperatursensor 40 und der darunterliegenden starren Unterlage 60 einen gut leitenden thermischen Pfad zu schaffen.

Im Gegensatz dazu haben der erste Temperatursensor 30 und der Kupferstreifen 20 keine thermischen Durchbrüche zwischen sich und der starren Unterlage 60. Auf diese Weise ist der erste Temperatursensor 30 von der starren Unterlage 60 teilweise thermisch isoliert, und deshalb hat die Temperatur der starren Unterlage 60 einen verminderten Einfluß auf die durch den ersten Temperatursensor 30 gemessene Temperatur.

Der zweite Temperatursensor 40 ist angeordnet, um die Temperatur der starren Unterlage 60 zu messen.

Nun ebenfalls bezugnehmend auf Fig. 2, hier wird ein konzeptionelles thermisches Modell der Anordnung von Fig. 1 gezeigt, in dem Wärme (gemessen in Watt, W), Temperatur (gemessen in Grad Celsius, °C) und thermischer Widerstand (gemessen in °C/W) als elektrischer Strom (Ampere, I), Spannung (Volt, V) bzw. elektrischer Widerstand (V/I oder Ohm, Ω) modelliert werden.

Die Wärme, die durch die Einrichtung 10 erzeugt wird, wird konzeptionell durch die Stromquelle 200 dargestellt, und diese hat die Eigenschaft, daß der gelieferte Strom numerisch gleich der durch die Einrichtung 10 erzeugten Wärme ist. Die Wärme, die durch die starre Unterlage 60 verbraucht wird, erhöht deren Temperatur, und dies wird konzeptionell durch die Spannungsquelle 250 dargestellt, die die Eigenschaft hat, daß die Spannung, die über ihr auftritt, numerisch gleich der Temperatur der starren Unterlage 60 ist. Der bekannte thermische Widerstand der Einrichtung 10 wird durch einen ersten Widerstand 210 dargestellt, der einen ohmschen Wert R_{jc} hat, der numerisch gleich dem bekannten thermischen Widerstand ist.

Es gibt zwei parallele thermische Pfade für die Wärme, die von der Einrichtung 10 zur starren Unterlage 60 fließt. Die thermischen Widerstände dieser Pfade können entweder durch die Verwendung von Prüfvorrichtungen direkt gemessen werden, oder sie können theoretisch berechnet werden, indem wissenschaftliche Standardtechniken verwendet werden, die auf den bekannten Materialeigenschaften und dem Aufbau der Einrichtung 10, der ersten thermischen Durchbrüche 70, der PCB 50 und der starren Unterlage 60 basieren.

Der erste thermische Pfad ist ein Pfad mit geringem thermischen Widerstand, der durch die ersten thermischen Durchbrüche 70 dargestellt wird, und dies wird konzeptionell durch den zweiten Widerstand 240 dargestellt, der in diesem Fall den Wert $2,7 \Omega$ hat, denn der berechnete thermische Widerstand der ersten thermischen Durchbrüche 70 beträgt $2,7 \text{ °C/W}$. Der zweite Widerstand 240 ist zwischen den ersten Widerstand 210 und das Bauelement 250 geschaltet.

Der zweite thermische Pfad ist ein Pfad mit hohem thermischen Widerstand zwischen der Einrichtung 10 und der starren Unterlage 60, der aus dem Kupferstreifen 20, dem ersten Temperatursensor 30 und der PCB 50 besteht. Der zweite thermische Pfad wird konzeptionell durch die Reihenanordnung der dritten und vierten Widerstände 220 und 230 dargestellt, die zwischen den ersten Widerstand 210 und das Bauelement 250 (parallel zum zweiten Widerstand 240) geschaltet sind. In diesem Fall haben die dritten und vierten Widerstände die Werte 138Ω bzw. $78,3 \Omega$. Diese spiegeln die gemessenen thermischen Widerstände des Kupferstreifens 20 (138 °C/W) bzw. des Abschnitts der PCB 50 zwischen dem ersten Temperatursensor 30 und der starren Unterlage 60 ($78,3 \text{ °C/W}$) wider. Die oben genannten Widerstandswerte sind veranschaulichend und dienen nur als Beispiele.

Ein erster Knoten 260 zwischen den dritten bzw. vierten Widerständen hat eine Spannung, die die Temperatur widerspiegelt, die durch den ersten Temperatursensor 30 gemessen wird (und zwar die Temperatur am von der Einrichtung 10 entfernten Ende des Kupferstreifens 20).

Ähnlicherweise hat ein zweiter Knoten 205 zwischen der Stromquelle 200 und dem ersten Widerstand 210 eine Spannung, die die Sperrschichttemperatur der Einrichtung 10 widerspiegelt.

Ein dritter Knoten 215 zwischen den ersten, zweiten und dritten Widerständen 210, 220 bzw. 240 stellt die Temperatur unmittelbar neben der Einrichtung 10 dar.

Der erste Temperatursensor 30 wird ungefähr 1/4 der Temperaturdifferenz zwischen der starren Unterlage 60 (die durch den zweiten Temperatursensor 40 gemessen wird) und der Temperatur der Einrichtung 10 anzeigen. Bei einem Verbrauch von 1 W wird die Temperatur der Einrichtung 10 um $3,76 \text{ °C}$ über der starren Unterlage sein, während der Sensor $0,97 \text{ °C}$ anzeigen wird.

Aus den obenstehenden Werten können die folgenden Ausdrücke abgeleitet werden:

$$VT = VTR + I \cdot (R_{jc} + R_t) \quad \text{Gleichung 1}$$

wobei VT die Spannung über der Stromquelle 200 ist (die Sperrschichttemperatur, wie sie durch den Knoten 205 dargestellt wird),

VTR ist die Spannung über dem Bauelement 250 (Temperatur der starren Unterlage 60),

I ist der Strom, der von der Stromquelle geliefert wird (Wärme) und

Rt ist der kombinierte Widerstand der zweiten, dritten und vierten Widerstände.

Rt ist gegeben durch:

$$R_t = \{R_2 \cdot (R_3 + R_4)\} / (R_2 + R_3 + R_4) = 2,667 \Omega \quad \text{Gleichung 2}$$

wobei R2 = Widerstand des zweiten Widerstands 240 ($2,7 \Omega$),

wobei R3 = Widerstand des dritten Widerstands 220 (138Ω),

wobei R4 = Widerstand des vierten Widerstands 230 ($78,3 \Omega$).

Die Spannung am Knoten 215 beträgt (Ohmsches Gesetz):

$$V_{215} = VTR + I \cdot R_t \quad \text{Gleichung 3.}$$

Die Spannung am Knoten 260 (Potentialteiler) beträgt:

$$V_{260} = V_{TR} + (V_{215} - V_{TR}) \cdot R_4 / (R_3 + R_4) \quad \text{Gleichung 4.}$$

Die Verknüpfung der Gleichungen 3 und 4 führt zu:

$$V_{260} = V_{TR} + (V_{TR} + I R_1 - V_{TR}) \cdot R_4 / (R_3 + R_4) \quad \text{Gleichung 5.}$$

V_{TR} hebt sich auf, und die Auflösung nach I ergibt:

$$I = (V_{260} - V_{TR}) \cdot (R_3 + R_4) / (R_1 \cdot R_4) \quad \text{Gleichung 6.}$$

Einsetzung der Gleichung 6 in Gleichung 1:

$$V_T = V_{TR} + (V_{260} - V_{TR}) \cdot (R_3 + R_4) \cdot (R_{jc} + R_t) / (R_1 \cdot R_4) \quad \text{Gleichung 7.}$$

Gleichung 6 beschreibt die Sperrschichttemperatur (V_T), die nur durch bekannte Variable (V_{260} ist der Wert des ersten Temperatursensors 30, V_{TR} ist der Wert des zweiten Temperatursensors 40) und die Werte der thermischen Widerstände dargestellt wird.

Verwendet man die anschaulichen Werte, die in Fig. 2 gezeigt werden, erhält man:

$$V_T = V_{TR} + (V_{260} - V_{TR}) \cdot 3,8 \quad \text{Gleichung 8.}$$

Gemäß Gleichung 8 wird die Temperatur der Einrichtung somit geschätzt durch die Multiplikation der Temperaturdifferenz zwischen dem zweiten Temperatursensor 40 und dem ersten Temperatursensor 30 mit dem richtigen Skalierungsfaktor (hier 3,8) und die nachfolgende Addition mit dem Wert des zweiten Temperatursensors 40.

Nun ebenfalls bezugnehmend auf Fig. 3, es ist ebenfalls möglich, die Genauigkeit dieser Schätzung zu verbessern, wenn sich die Sperrschichttemperatur schnell ändert. In diesem Fall ist die thermische Schaltung wie in Fig. 3 gezeigt, die die gleichen Bauelemente wie Fig. 2 hat, jedoch zusätzliche Kondensatorwerte, die eine Anzeige der thermischen Kapazitäten sind, die mit der Anordnung 5 verbunden sind. Erste, zweite, dritte und vierte Kondensatoren 215 (C1), 225 (C2), 235 (C3) und 245 (C4) sind den ersten, zweiten, dritten bzw. vierten Widerständen 210, 220, 230 bzw. 240 zugehörig.

In der in Fig. 1 gezeigten Struktur wird die Zeitkonstante, die mit C_2/R_2 verbunden ist, normalerweise viel größer sein als C_1/R_{jc} , C_3/R_3 und C_4/R_4 . Deswegen kann die Temperaturschätzung durch die Einsetzung eines geeigneten Kapazitätswerts verbessert werden.

Nun ebenfalls bezugnehmend auf Fig. 4, die obenstehende Berechnung kann durch die erläuterte einfache Schaltung durchgeführt werden. Ein Operationsverstärker (OPerational AMPlifier – OPAMP) 310 hat einen nicht invertierenden Eingang, der geschaltet ist, um eine erste Temperaturspannung 300 vom ersten Temperatursensor 30 zu empfangen, einen invertierenden Eingang, der untenstehend weiter beschrieben wird, und einen Ausgang, der eine Temperaturschätzungsspannung 360 (VTO) liefert.

Ein Rückkopplungswiderstand 320 (R_5) ist zwischen den Ausgang und den invertierenden Eingang des OPAMP 310 geschaltet. Eine zweite Temperaturspannung 350 vom zweiten Temperatursensor 40 ist über einen Verstärkungswiderstand 330 (R_6) an den invertierenden Eingang des OPAMP 310 geschaltet. Ein Kondensator 340 (C5) ist parallel zum Verstärkungswiderstand 330 geschaltet.

Wenn der Einfluß von C5 ignoriert wird, wird die Temperaturschätzungsspannung VTO (die Verstärkung des OPAMP 310) gegeben durch:

$$VTO = (V_{300} - V_{350}) \cdot (R_5 + R_6) / R_6 + V_{350} \quad \text{Gleichung 9}$$

wobei V_{300} die erste Temperaturspannung 300 und V_{350} die zweite Temperaturspannung 350 ist.

Die Werte R_5 und R_6 sind so gewählt, daß der Term $(R_5 + R_6) / R_6$ den theoretisch bestimmten Wert (in diesem Fall den Wert 3,8 der Gleichung 8) wiedergibt.

Die "Integrations-" Wirkung von C_2/R_2 kann näherungsweise mit dem Kondensator 340 (C5) kompensiert werden, wenn $C_5/R_6 \approx C_2/R_2$ ist. Deswegen wird der Wert C5 des Kondensators 340 entsprechend gewählt.

VTO kann dann auf zahlreiche Arten verwendet werden. Es kann über einen Vergleicher (nicht gezeigt) mit einem Referenzwert verglichen werden. Wenn der Referenzwert überschritten wird (was Übertemperatur anzeigt), könnte eine Auslöseschaltung oder ähnliches aktiviert werden, um den Leistungsverbrauch der Einrichtung zu reduzieren.

Die Berechnung, die durch die in Fig. 4 erläuterte einfache Schaltung ausgeführt wird, könnte alternativ durch einen Mikroprozessor ausgeführt werden. In diesem Fall würde es möglich sein, den Leistungsverbrauch der Einrichtung 10 zu reduzieren, indem der Mikroprozessor bei einer geringeren Frequenz betrieben wird.

Es wird anerkannt werden, daß zu der einen obenstehend beschriebenen Ausführung alternative Ausführungen möglich sind. Beispielsweise kann mehr als eine Einrichtung auf der starren Unterlage 60 montiert werden, und der zweite Temperatursensor 40 kann verwendet werden, um für mehr als eine Anordnung 5 eine gemeinsame Messung der Temperatur der starren Unterlage 60 bereitzustellen.

Weiterhin könnte der thermisch leitfähige Kupferstreifen durch einen Streifen aus anderem Material mit guter thermischer Leitfähigkeit ersetzt werden.

1. Temperaturmeßanordnung für eine elektronische Einrichtung, wobei die Anordnung umfaßt:
 - einen ersten Temperatursensor, der angeordnet ist, um über eine thermisch leitfähige Verbindung an der elektronischen Einrichtung befestigt zu werden, zur Messung der Temperatur der thermisch leitfähigen Verbindung und zur Bereitstellung eines ersten Signals, wobei die Verbindung und der erste Temperatursensor von der starren Unterlage thermisch isoliert sind;
 - einen zweiten Temperatursensor, der angeordnet ist, um die Temperatur der starren Unterlage zu messen; und
 - Logikmittel, die angeordnet sind, um aus den Messungen von den ersten und zweiten Temperatursensoren ein Temperatursignal zu berechnen, das die Temperatur der elektronischen Einrichtung anzeigt.
2. Anordnung nach Anspruch 1, wobei die thermisch leitfähige Verbindung ein Kupferstreifen ist.
3. Anordnung nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, wobei die Logikmittel ein Referenzsignal enthalten, das die maximal erlaubte Betriebstemperatur der Einrichtung anzeigt.
4. Anordnung nach Anspruch 3, wobei die Logikmittel einen Vergleichler enthalten, der angeordnet ist, das Referenzsignal mit dem Temperatursignal zu vergleichen zur Bereitstellung eines Steuersignals, das verwendet wird, um die Einrichtung zu sperren, wenn das Temperatursignal das Referenzsignal überschreitet.
5. Anordnung, die eine Vielzahl von Anordnungen nach einem der vorhergehenden Ansprüche umfaßt, wobei die Anordnung eine gemeinsame starre Unterlage, auf die die Vielzahl der Einrichtungen montiert sind, und einen gemeinsamen zweiten Temperatursensor hat, der eine Messung der Temperatur der starren Unterlage für jede aus der Vielzahl der Anordnungen liefert.
6. Verfahren zur Temperaturmessung einer auf eine starre Unterlage montierten elektronischen Einrichtung, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfaßt:
 - Messung der Temperatur einer thermisch leitfähigen Verbindung, die an der elektronischen Einrichtung angebracht ist, indem ein erster Temperatursensor verwendet wird, wobei die Verbindung und der erste Temperatursensor von der starren Unterlage thermisch isoliert sind;
 - Messung der Temperatur der starren Unterlage, indem ein zweiter Temperatursensor verwendet wird; und
 - Verknüpfung der Messungen von den ersten und zweiten Temperatursensoren, um ein Temperatursignal bereitzustellen, das die Temperatur der elektronischen Einrichtung anzeigt.
7. Verfahren nach Anspruch 6, weiter den Schritt des Vergleichs der Messung der Temperatur der elektronischen Einrichtung mit einem die maximal erlaubte Betriebstemperatur der Einrichtung anzeigenden Referenzwert umfassend, zur Bereitstellung eines Steuersignals, das zur Sperrung der Einrichtung verwendet wird, wenn das Temperatursignal das Referenzsignal überschreitet.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

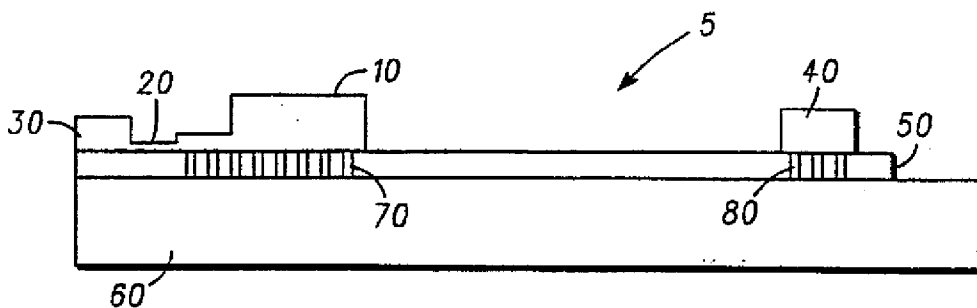


FIG. 1

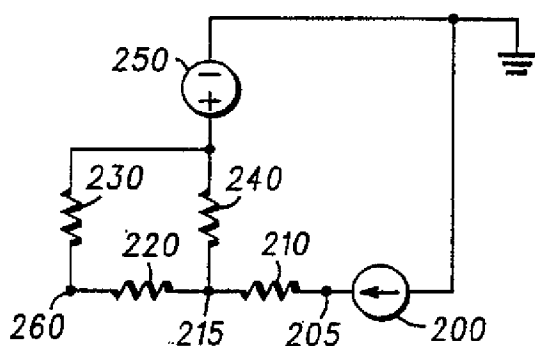


FIG. 2

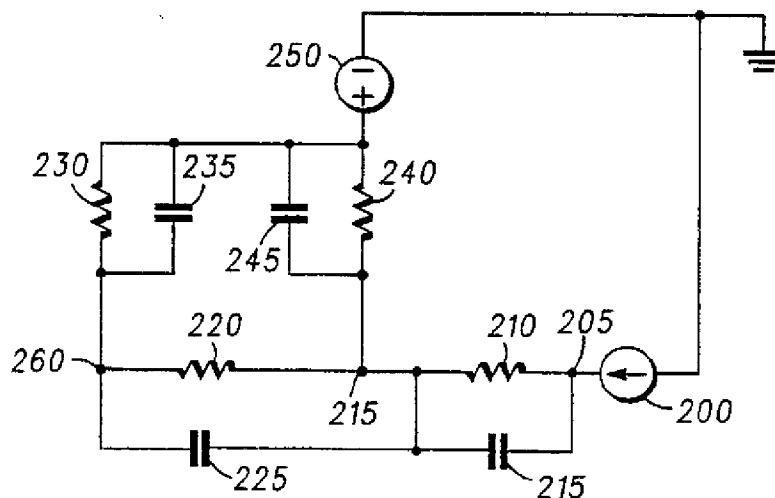


FIG. 3

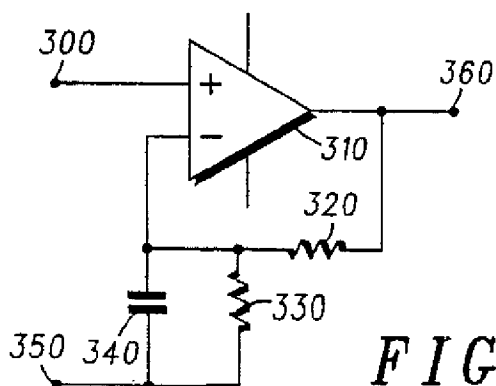


FIG. 4